

一个实用的人脸定制和表情动画编辑系统

梅 丽

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310027)

摘 要 介绍了一个简单而行之有效的特定人脸定制和表情动画的编辑系统. 首先给定一个内嵌肌肉向量的一般人脸三维多边形网格模型并提供特定人脸的正侧面正交图象, 然后采用 snake 技术自动适配人脸特征线, 变分一般模型定制出三维虚拟人脸; 接着再用多分辨率样条技术产生无缝的人脸纹理镶嵌图, 进而生成高度真实感的虚拟特定人脸. 由内嵌肌肉向量的参数化表示, 通过编辑参数能赋予三维虚拟人脸各种丰富的表情. 由于变分后人脸模型的拓扑不变, 因此可用基于三角化的图象 metamorphosis 实现不同特定人脸间的三维 morph. 该系统能在廉价的 PC 平台上实现, 其快速、简单而且具有真实感, 具有很大的实用价值.

关键词 特征线 Snake 变分插值 多分辨率样条 肌肉向量 图象 metamorphosis

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)04-0325-07

A Practical Editorial System for Facial Customization and Expression Animation

MEI Li

(State Key Laboratory of CAD & CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract In this paper, we present a simple but effective editorial system for facial customization and expression animation. Provided with frontal and side facial images and a general 3D polygonal facial mesh with muscle vectors, facial feature lines are fitted by snake automatically. variation interpolation are performed on the general model to customize 3D virtual face model. Then, we generate non-crack facial texture mosaic with multiresolution spline. And the so generated virtual particular face looks highly realistically. According to its parameterization representation of imbedded muscular vector, the virtual face can make different expressions after we edit relevant parameters. Owing to its topological invariability, we can realize 3D morph between different particular faces based on triangular image metamorphosis. The system can be realized on PC plat easily and quickly and it is very practical.

Keywords Feature line, Snake, Variational interpolation, Multiresolution spline, Muscle vector, Image metamorphosis

0 引 言

特定人脸的三维建模、逼真的人脸表情动画仍是计算机模拟中的一个极具挑战性的课题. 因为人类本身就是识别人脸真实性的专家, 所以计算机模拟的人脸稍微有一点疵漏都难以逃过人们敏锐的眼

光. 近年来, 对人脸进行造型, 并真实再现特定人脸个体特征的方法很多, 包括用激光扫描仪^[1]、立体摄像机^[2]、active light stripper^[3]去重建人脸, 但这些方法需要昂贵的设备, 当然也有用图片数据去重建特定人脸的方法^[4,5], 但这些重建特定人脸的方法离实用还有一定的距离. 如文献[4]决定特征线上的特征点的算法复杂, 计算量很大; 文献[5]所示方法在

重建模型后,沿不同视线方向观察特定人脸时,必须根据当前特定的视线方向产生特定的纹理图.本文介绍的特定人脸的定制和表情编辑系统,在提交特定人脸的一组正交图象后,先用 snake 技术自动测得特定人脸的特征线相对于一般人脸模型特征线的位移,然后用径向基插值函数变分一般人脸模型,定制出特定人脸三维模型,特定人脸模型几何适配好后,再进行自动纹理映射,纹理镶嵌图一次产生,从而可以快速实现特定人脸的真实再现,且用户只需简单编辑内嵌肌肉向量的少量参数,该特定人脸模型即能在肌肉向量的驱动下作出各种预想得到的表情,并可用基于三角化的图象 metamorphosis 实现不同特定人脸间的三维 morph. 实现方法简单快速,效果逼真.

1 特定人脸模型的几何适配

1.1 人脸图象的规范化和对一般人脸模型的整体变换

给定特定人脸的3幅实拍图象,其中一幅正面,两幅侧面.首先对图象规范化,使图象上的人头等高,并使眼角点等高.基于规范化后的图象可粗略估计特定人脸的宽度、高度和深度,其中宽度 l_x 、高度 l_y 由正向人脸图象决定,深度 l_z 由侧向人脸图象决定.

l_x = 面颊间的宽度; l_y = 头顶和下巴间的高度;

l_z = 鼻尖和后脑勺间的深度

采用的一般人脸三维多边形网格,其包围盒中心记为 $O(O_x, O_y, O_z)$. 模型的宽,高和深度分别记为 L_x, L_y, L_z . 对网格模型实施整体变换,即对每一个网格顶点 (V_x, V_y, V_z) , 记其变换后的新位置为 (V'_x, V'_y, V'_z) , 则

$$V'_i = (V_i - O_i) \times l_i/L_i \quad (1)$$

其中, $i = x, y, z$.

图象的规范化和模型的整体变换为自动适配人脸特征线打下了坚实的基础.

1.2 特征线的设计

在一般模型网格上定义有11条由离散特征点连成的折线——特征线:鼻翼线,嘴巴轮廓线,脖围线,侧面投影轮廓线,正面投影轮廓线,左眼、右眼线,左眉、右眉线,左耳、右耳线.它们反映并决定了不同人脸结构的特性.

1.3 求取特征线上特征点的位移向量

1.3.1 基于 snake 技术适配二维特征线

Snake 也称活动轮廓,是1988年由 Kass 等人提出的一个用于跟踪图象序列中边界的物理模型^[6],近年来它得到不断的发展,并被广泛用于适配给定图象的轮廓.基于一般人脸模型的整体变换和投影网格的整体适配,将一般模型上的三维特征线的正向投影作为 snake 的初始位置.图1以鼻翼特征线为例,显示了由正向投影产生的 snake 初始位置和自动适配后的结果.



图1 前3幅图象显示了鼻翼特征线的初始位置,后3幅图象显示了使用 snake 技术适配后的结果

1.3.2 投影网格的整体适配

用 snake 方法自动适配二维特征线,需保证投影特征线不能太偏离图象上相应的轮廓线;需整体平移投影网格达到最佳适配.记正侧面3个投影网格的平移量分别为 (d_1, d) 、 (d_2, d) 、 (d_3, d) . 图2显示了右侧视图投影网格的整体适配情况.

求取一般模型的三维特征线在3幅规范化的人

脸图象上的投影,即对于特征线上的每一个特征点 (x, y, z) 在正、右、左侧视图上的投影点分别取 $(x + d_1, y + d)$ 、 $(z + d_2, y + d)$ 和 $(w - z + d_3, y + d)$. 其中 w 是左侧图宽度.用 snake 技术将二维特征投影线自动适配到人脸图象的相应位置.基于适配后的3条二维投影线计算出三维特征点的位移.记原网格模型上的特征点 (x, y, z) 在正面,右面,左面视

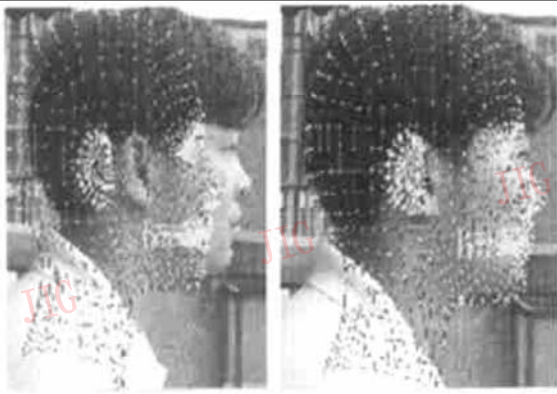


图 2 右侧视图上投影网格的整体适配前后

图上适配后的位置分别是 (x_r, y_r) 、 (z_r, y_r) 和 (z_l, y_l) , 则特定人脸相对于一般模型的三维特征点位移矢量为

$$\begin{cases}
 u = \left| x_r - d_1 - x, \frac{y_r + y_l}{2} - d - y, z_r - d_2 - z \right| & \text{for } x \geq 0 \\
 u = \left| x_r - d_1 - x, \frac{y_r + y_l}{2} - d - y, w - z_l - d_3 - z \right| & \text{for } x < 0
 \end{cases} \quad (2)$$

1.4 用散乱数据插值. 变分一般模型

一旦求得特征线上特征点 p_i 的相对位移 u_i , 就可以取特征点作为约束点, 用散乱数据插值的方法对一般模型进行变分. 以原始网格点的三维坐标作为函数的嵌入空间, 用一个光滑的向量值函数 $f(p)$ 去适配已知数据 $u_i = f(p_i)$. 本文采用变分插值技术求解该函数, 取形式为

$$f(p) = \sum_i c_i \Phi(\|p - p_i\|) + Mp + t$$

其中, 径向基函数 $\Phi(r)$ 取为 $\Phi(r) = e^{-\frac{r}{\sigma}}$, 仿射分量 M 和 t 分别是 3×3 矩阵和 3×1 向量. 其中约束条件为

$$\begin{cases}
 u_i = f(p_i) \\
 \sum_i c_i = 0 \\
 \sum_i (c_i \cdot p_i)^T = 0
 \end{cases} \quad (3)$$

求解这样一个带约束条件的线性系统, 不仅能保证网格曲面能量最小化, 而且能用简单的解析形式加以表达, 求解快速方便.

2 纹理映射

纹理映射能赋予三维人脸模型以真实感. 由于输入的是 3 幅图象, 所以需经过组合才能得到高分辨率的纹理镶嵌图. 正向视图能提供高精度的脸部特征, 所以正向视图保持不变, 而侧向视图则需首先沿预定义的脸部变形特征线进行变形, 然后沿眼角垂线与正向视图的眼角垂线相互拼接, 进而用多分辨率样条技术进行光滑, 形成一张较大的无缝纹理镶嵌图. 正面图象上的脸部变形特征在图 3 中用黑实线显示. 在侧面图象中定义了对应的脸部变形特征线. 对侧面图象进行变形的准则是使其变形后的脸部变形特征线与正向视图中的脸部变形特征线重合, 因此需对脸部变形特征线两侧的图象像素进行重采样变换. 侧向视图变形过程的一个示意图见图 3(a). 这里对分段特征线执行分段线性变换, 而适用更高阶的特征曲线能对侧向视图执行更光滑的变形. 最后遵循上面的图象变形规则, 正确给出特定人脸网格顶点的纹理坐标.

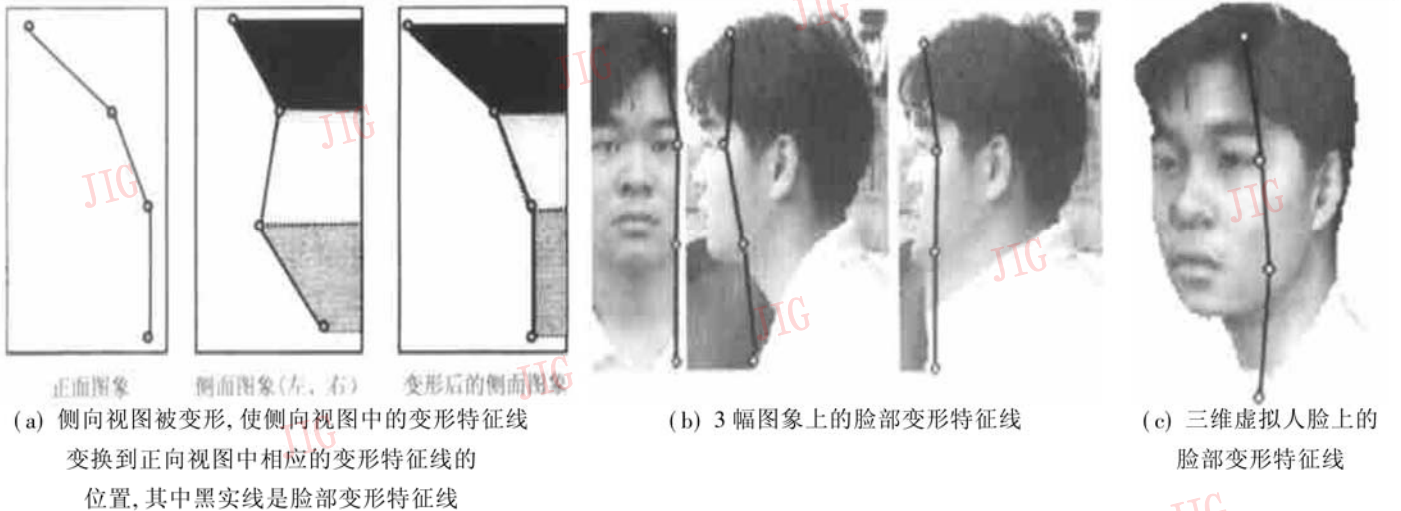


图 3

2.1 人脸图象的变形

为了尽可能得到高分辨率的纹理图, 正视图不变, 左右视图分别根据预定义的变形特征线变形, 并

将变形后的左右图象沿眼角点垂线裁剪图象并与正视图的对应左右眼角点垂线相互拼接. 左右视图的变形准则是将侧向视图中定义的变形特征线变换到

正视图中对应变形特征线的位置,即沿左右图象的每一条扫描线作横向压缩或拉伸(图3(a)).

2.2 纹理镶嵌图的产生

正视视图只在一定视角范围内给出了较好的人脸纹理.由于眼睛是人脸视图的关键,故沿眼角裁剪

图象并加以拼接.在拍摄图片时,一般光照条件会发生变化,简单的拼接会使皮肤颜色在拼接边界处变化很大,出现接缝,见图4(a).而多分辨率样条技术^[7]能有效消除不连续边界,实现图象之间的光滑拼接.见图5右图.



(a) 简单拼接



(b) 在镶嵌图上的纹理坐标

图4



图5 变形左、右侧视图,沿左右眼角点垂线进行拼接,并用多分辨率样条技术生成无缝纹理镶嵌图的过程

2.3 纹理坐标的计算

类似1.3节,计算纹理坐标时,将每一个网格顶点 (x, y, z) 在正、右侧、左侧图象上正向投影,投影点位置分别记为 $(x_t, y_t), (z_r, y_r), (z_l, y_l)$.正视图中左右眼角点的 x 坐标分别为 f_1, f_2 ,右侧图中的后脑勺边界和右眼角的 x 坐标分别为 r_1, r_2 ,左侧面图中的左眼角和后脑勺边界的 x 坐标分别为 l_1, l_2 ,并且记正面,右侧图象在纹理镶嵌图中裁剪的宽度分别为 w_1, w_2 .计算未实施图象变形前网格顶点在纹理镶嵌图上的纹理坐标

$$\begin{cases}
 x_{\text{texcoord}} = \begin{cases} (x_t - f_1 + w_2) & \text{投影点位于正视裁剪图上} \\ (z_r - r_1) & \text{投影点位于右视裁剪图上} \\ (z_l - l_1 + w_1 + w_2) & \text{投影点位于左视裁剪图上} \end{cases} \\
 y_{\text{texcoord}} = y_t
 \end{cases} \quad (4)$$

然后遵循图象的变形特征线的变形,计算出网格顶点在变形纹理图象上的纹理坐标.图4(b)显示了特定人脸网格顶点的纹理坐标,实验结果表明纹

3 肌肉驱动的脸部变形模型

文中的人脸模型,内嵌了18个肌肉向量,肌肉向量的头和尾分别附着在网格模型的某两个对应顶点上,用于产生FACS^[8]中所描述的运动单元.根据解剖学,大多数脸部线性肌肉由附着在骨头上静止不动的一端 V_1 和嵌入皮肤软组织的一端 V_2 所组成.当肌肉变形被启动时,它等压力拉伸或收缩,所以肌肉向量可用方向和幅度来表示.图6显示了内嵌在模型中的18个肌肉向量.图7表示了网格顶点 P 是如何受邻近肌肉向量收缩影响的.图中虽然描述的是2D空间中的肌肉向量,但在3D空间应用相同的规则,可很容易计算点 $P(x, y, z)$ 的位移量 $P'(x', y', z')$.假定在皮肤附着点处具有最大位移,而在骨头附着点处位移为零,那么用非线性插值,容易模拟出肌肉的简单运动.

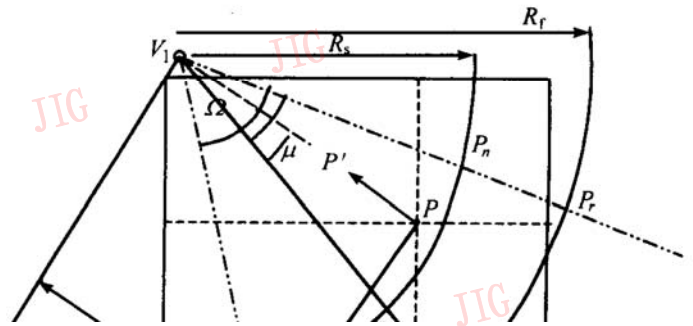
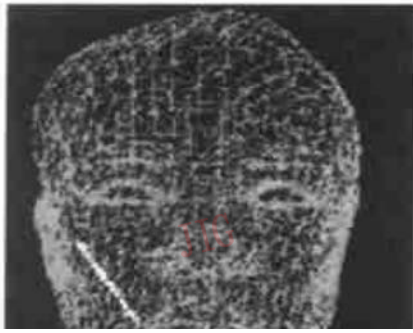


图 7 显示了人脸定制和表情动画编辑系统中的肌肉模型

的两个端点, R_s 、 R_f 分别表示起点和终点的衰减半径, Ω 是最大影响区域; D 是向量 \vec{V}_1P 的距离. 给定任意网格顶点 $P(x, y)$, 在区域 $V_1P_nP_m$ 中的顶点 P 沿向量 \vec{V}_1 朝 V_1 移动, 位移量记 $P'(x', y', z')$, 则

$$\begin{cases} x' \propto f(K \times A \times R \times x) \\ y' \propto f(K \times A \times R \times y) \end{cases} \quad (5)$$

其中, K 是肌肉弹性常数; 角度位移因子 A 为

$$A = \cos(\mu / \pi \times \pi / 2) \quad (6)$$

μ 是 \vec{V}_1V_2 和 \vec{V}_1P 之间的夹角; 径向位移因子定义为

$$\begin{cases} R = \cos \left| \frac{(1-D)/R_s}{2} \pi \right| & P \text{ 点位于 } V_1P_nP_m \text{ 中时} \\ R = \cos \left| \frac{(D-R_s)/(R_f-R_s)}{2} \pi \right| & P \text{ 点位于 } P_nP_fP_m \text{ 中时} \end{cases} \quad (7)$$

同时也实现了下巴关节的运动, 即对它周围的网格顶点关于水平 x 轴旋转 θ 角度

$$\begin{cases} x' = x \\ y' = y \cos \theta - z \sin \theta \\ z' = y \sin \theta + z \cos \theta \end{cases} \quad (8)$$

其中, (x, y, z) 是相应的网格顶点, (x', y', z') 是新

R_s 、 R_f 是沿向量 V_1V_2 肌肉拉伸的起点和终点的衰减半径

位置. 该方法虽然简单, 但能有效地实现嘴巴的闭合.

4 不同虚拟人脸间的三维 morphing

三维 morphing 包括形状变化和纹理变化. 由于编辑系统是基于变分一般人脸模型来定制特定人脸的, 定制得到的虚拟人脸应保持一般人脸模型的拓扑结构, 故在不同虚拟人脸间作三维形状插值是直接的. 图 8 显示了在两个虚拟人脸间的形状插值, 插值因子由 0 升至 1.

在定制出两个虚拟人脸后, 就有对应的一组纹理图象和纹理坐标, 用两维简单的线性插值来获得插值模型的中间纹理坐标, 用基于三角化的图象 metamorphosis 来获取中间纹理图象. 首先对源和目标纹理图象的宽和高分别进行线性插值得到中间纹理图象的宽和高. 插值模型网格顶点在中间纹理图象上的颜色值取该顶点在源和目标纹理图象上对

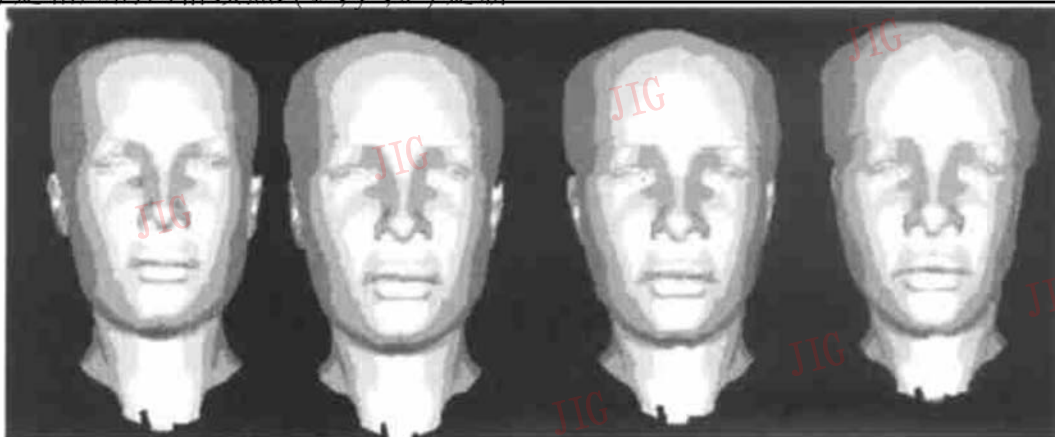


图 8 显示了在不同虚拟人脸间的形状插值. 插值因子分别为 0、1/3、2/3 和 1

应的纹理坐标点处颜色值的线性插值,为了填充中间纹理图象上非插值坐标点处的颜色值,即新纹理坐标三角形的内部,计算每个三角形内任意一像素点 $P(x, y)$ 相对于三角形3个角点 P_1, P_2, P_3 的重心(barycentric)坐标 (u, v, w) .在源和目标纹理图象上找到网格顶点在纹理图象上的投影三角形(角点分别为 $P_{1L}, P_{2L}, P_{3L}, P_{1R}, P_{2R}, P_{3R}$)上具有相同重心坐标的2点 P_1, P_2 ,取这2点上的图象颜色值 $C_L(x, y)$ 和 $C_R(x, y)$ 的线性插值作为 $P(x, y)$ 点的纹理颜色值 $C(x, y)$.即 P 点颜色值取为

$$C(x, y) = (1 - morph_factor) \times C_L(uP_{1Lx} + vP_{2Lx} + wP_{3Lx}, uP_{1Ly} + vP_{2Ly} + wP_{3Ly}) + morph_factor \times C_R(uP_{1Rx} + vP_{2Rx} + wP_{3Rx}, uP_{1Ry} + vP_{2Ry} + wP_{3Ry}) \quad (9)$$



图9 一般人脸模型和适配后特定人脸的线框图和消隐图

其中, $morph_factor$ 取值范围为 0~ 1.

5 实验结果

图9显示了算法中所用的初始人脸模型和用变分技术重建的特定人脸模型,分别以线框和 Ground 消隐显示.图10是以不同视线、不同视角观察重建人脸纹理映射的结果.

表情可以由多块肌肉运动的组合而得到.如图11中的高兴表情,由肌肉向量的组合将嘴角拉起,并斜向上提起颧骨大肌而产生变形的一种效果.生气表情是收紧和降低眉毛,嘴唇绷紧而产生的变形效果.实验模型左脸的9个内嵌肌肉向量定义见表1.



图10 以不同视线方向观察的虚拟人脸

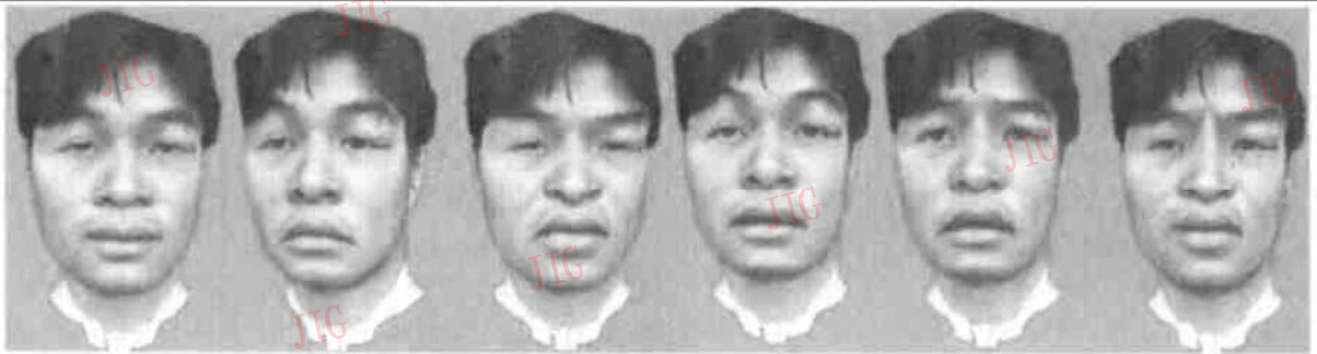


图11 多个肌肉向量运动组合的脸部高兴、悲哀、生气、惊奇、害怕、愤怒这6种人脸基本表情实例。(其中惊奇和害怕表情组合了嘴巴的张合)

表1 实验模型左脸的9个内嵌肌肉向量定义

肌肉向量(左脸)	肌肉起点坐标 V_1	肌肉终点坐标 V_2	起点衰减半径 R_s	终点衰减半径 R_f	最大影响区域角 Ω	肌肉弹性常数 K
Zygomatic- Major	(- 0.202 7, - 0.177 2, 0.605 3)	(- 0.412 5, 0.149 1, 0.530 1)	0.009 8	0.473 8	45.0	0.02
Angular- Depressor	(- 0.202 7, - 0.177 2, 0.626)	(- 0.3201 2, - 0.383, 0.354 6)	0.03	0.45	65.0	0.002
Frontalis- Inner	(- 0.072 7, 0.382 83, 0.600 29)	(- 0.063 16, 0.651 68, 0.678 3)	0.01	0.36	35.0	0.08
Frontalis- Major	(- 0.262 67, 0.447 83, 0.625 3)	(- 0.240 57, 0.748 47, 0.675 8)	0.01	0.37	65.0	0.01
Frontalis- Outer	(- 0.348 9, 0.418 436, 0.575)	(- 0.490 15, 0.643 4, 0.444 89)	0.01	0.35	45.0	0.05
Labi- Nasi	(- 0.150 56, - 0.138 98, 0.629)	(- 0.220, 0.234 28, 0.592 99)	0.01	0.52	35.0	0.06
Inner- Labi- Nasi	(- 0.127, 0.157 966, 0.626 0)	(- 0.084 29, 0.312 8, 0.586 49)	0.01	0.45	35.0	0.02
Lateral- Corigator	(- 0.002 42, 0.419 9, 0.639 93)	(0.000, 0.586 746, 0.684 778)	0.05	0.3	45.0	0.06
Secondary- Frontalis	(- 0.034 1, 0.304 5, 0.612 754)	(- 0.115 25, 0.491 7, 0.655 52)	0.01	0.48	45.0	0.02

右脸对应的9个肌肉向量只需将左脸对应肌肉的起点和终点顶点坐标的 x 分量反号即可。按上表顺序所列左脸肌肉向量分别为1至9,则产生如图11所示的6种基本表情手工编辑的肌肉收缩因子如表2所示。

表2 6种基本表情手工编辑的肌肉收缩因子

表情	肌肉向量								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
高兴	0.022	0.0	0.016	0.004	0.002	0.0	0.0	0.0	0.0
生气	0.0	0.004	0.004	0.002	0.04	0.036	0.024	0.028	0.004
惊奇	0.006	0.004	0.028	0.01	0.004	0.0	0.0	0.0	0.01
悲哀	0.0	0.006	0.062	0.0	0.0	0.004	0.004	0.0	0.0
害怕	0.012	0.005	0.004	0.012	0.004	0.004	0.002	0.004	0.008
愤怒	0.016	0.0	0.004	0.0	0.008	0.022	0.014	0.046	0.0

两个虚拟人脸之间的三维 morphing 如图12所示。



图12 两个不同虚拟人脸之间的三维 morphing

6 结 论

本文介绍了一个基于实拍的正交人脸图象重建特定人脸,并用内嵌肌肉向量驱动人脸表情动画的方法,且利用纹理坐标的线性插值和基于图象的 metamorphosis 生成中间纹理图象的技术,在定制出的不同虚拟人脸之间实现三维 morphing 的一个编辑系统。几何重建利用了人脸图象的预定义关系,并且采用 snake 技术自动适配人脸特征线,用简单的变分方法快速达到几何适配,然后用多分辨率技术构造无缝纹理镶嵌图,进行纹理适配。该方法能快速实现不同人种、不同人群的人脸真实再现,变分的过程并不改变人脸模型的拓扑结构,故只要用相同的一般人脸模型,就能在重建的不同人脸模型之间直接作 morphing 以产生中间的人脸模型,而且重建的特定人脸可以通过内嵌肌肉向量运动的组合,实现丰富和逼真的脸部表情。下一步的工作将在录像分析阶段进一步展开,即建立一个神经网络对

拍摄到的特定人脸表情录像序列通过自学习的方法抽取出组成脸部表情的肌肉向量的参数,实现具有录像真实感的表情重组。这在娱乐,医疗,教育等各个方面都有广泛的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Lee Yuencheng, Terzopoulos Demetri, Waters Keith. Realistic modeling for facial animation [A]. In: Proceedings SIGGRAPH'95[C], Los Angeles, 1995, 29(Annual Conference Series): 55~ 62.
- 2 <http://www.turing.gla.ac.uk/turing/copyright.htm> [EB/OL].
- 3 Proesmans Marc, Gool Luc Van. Reading between the lines—a method for extracting dynamic 3D with texture[J]. Proceedings of VRST. 1997, 2(9): 95~ 102.
- 4 Pighin F, Hecker J, Lischinski D *et al.* Synthesizing realistic facial expressions from photographs [A]. In: Proceedings SIGGRAPH'98[C], Orlando, FL, USA: 1998: 75~ 84.
- 7 Burt Peter J, Anderson Edward H. A multiresolution spline with application to image mosaics [J]. ACM Transactions on Graphics. 1983, 2(4): 217~ 236.
- 8 Ekman P, Friesen W. Manual for the facial action coding system [M]. Consulting Psychologists Press Inc., Palo Alto, CA, 1978.
- 5 Horace H S Ip, Lijin Yin. Constructing a 3D individual head model from two orthogonal views[J]. The Visual Computer. 1996, 12(5): 254~ 266.
- 6 Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: active contour models[J]. Int J Computer Vision, 1998, 1(4): 321~ 331.



梅 丽 1971年生,博士研究生.研究方向为计算机动画、计算机图形学。